

Aki Laaksovirta

Valaistuksen ohjaus rautatiealueilla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

27.5.2016

Tekijä Otsikko	Aki Laaksovirta Valaistuksen ohjaus rautatiealueilla
Sivumäärä Aika	27 sivua 27.5.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Toimitusjohtaja Mika Saari Lehtori Tapio Kallasjoki
<p>Tässä Liikenneviraston tilaamassa työssä tutkittiin mahdollisuuksia säästää energiaa rautatiealueilla sekä myös ratapihoilla ja rautatieasemilla. Energia säästettäisiin ohjaamalla valaistusta sen mukaan, liikkuuko alueilla ihmisiä tai junia.</p> <p>Koska valaistuksenohjausjärjestelmät eivät ole ilmaisia, laskettiin myös, onko valaistuksen ohjaus taloudellisesti kannattavaa. Esimerkkeinä käytettiin Ilmalan ratapihaa ja Leppävaaran rautatieasemaa. Työssä käytettiin apuna Liikenneviraston julkaisuja.</p> <p>Insinööritöön tuloksena asiakas sai suosituksia siitä, millaisilla järjestelmillä ratapihojen ja rautatieasemien valaistusta on mahdollista himmentää. Työn tuloksia voidaan käyttää muiden Liikenneviraston kohteiden valaistuksenohjauksen suunnittelussa.</p>	
Avainsanat	valaistuksenohjaus, energiansäästö

Author Title	Aki Laaksovirta Lighting Control in Railway Areas
Number of Pages Date	27 pages 27 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Mika Saari, CEO Tapio Kallasjoki, Senior Lecturer
<p>In this Bachelor's Thesis, commissioned by the Finnish Transport Agency, possibilities to save energy on railway areas by controlling their lighting, based on the number of people and trains moving there, were investigated. The objective was to find as many ways to control dimming of outdoor lighting as possible.</p> <p>Because such lighting control systems do not come for free, the profitability of such installations was calculated by using the Ilmala railyard and the Leppävaara railway station as examples. Publications by FTA were used as an aid.</p> <p>As a result of this Bachelor's Thesis, recommendations on how to dim lighting on railway areas were created. Results of this work can later be used by the FTA on their other railway areas.</p>	
Keywords	lighting control, energy savings

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Yleisiä asioita ulkovalaistuksesta	1
2.1	Ulkovalaistuksen toteutustavat	5
2.2	Ulkovalaistuksen valonlähteet	6
2.3	Himmennystavat ja -tekniikat	8
3	Valaistusvaatimukset rautatiealueilla	9
4	Valaistuksen ohjausmahdollisuudet	12
4.1	Ilmalan ratapiha	12
4.2	Junien liikkuminen alueella	15
4.3	Painonappi tai kytkin	15
4.4	Liiketunnistin	16
4.5	Luminanssikamera	16
4.6	Himmennyksen kauko-ohjaus	19
4.7	Leppävaaran rautatieasema	21
4.8	Valaistuksen ohjauksen toteutus KNX:llä	22
4.9	Liiketunnistimien asennusvälin laskenta	22
4.10	Valaistuksen ohjauksen toteutus Lumine Oy:n järjestelmällä	23
5	Säästölaskelmat	24
5.1	Ilmalan ratapiha ohjattuna kellokytkimellä	24
5.2	Ilmalan ratapiha luminanssikameralla ohjattuna	25
5.3	Säästölaskelma Leppävaaran asemaa varten	25
6	Yhteenveto	26
	Lähteet	27

Lyhenteet

led	Light-Emitting Diode, hohtodiodi. Diodi, joka säteilee valoa, kun sen läpi kulkee sähkövirta
GR	Glare Rating, tapa arvioida ulkovalaistuksen aiheuttamaa häikäisyä.
R _a	Värintoistoindeksi. Tapa arvioida, kuinka hyvin kahdeksan testiväriä toistuvat tutkittavana olevassa valossa.
CIE	Kansainvälinen valaistustekninen komissio.
HSL	Helsingin seudun liikenne -kuntayhtymä. Vastaa julkisen liikenteen järjestämisestä Helsingin seudun alueella.
FTA	Finnish Transport Agency. Liikenneviraston englanninkielinen nimi.

1 Johdanto

Tämän työn tarkoituksena on selvittää, kuinka Liikenneviraston liikennepaikoilla voitaisiin säästää energiaa ohjaamalla valaistusta nykyistä paremmin ja perustuen todelliseen tarpeeseen. Esimerkkialueiksi on valittu Ilmalan ratapiha ja Leppävaaran rautatieasema. Selvitystyön tuloksena saadaan tapoja vähentää valaistuksen energiankulutusta edellä mainituilla alueilla. Työssä otetaan huomioon eri alueiden käyttötarkoitukset ja työskentelyajat.

Tässä työssä suoritetaan vain valaistuksen ohjauksen suunnittelu. Valaistuksen toteutuksen seuranta jätetään työn ulkopuolelle. Työ tehdään LiCon-AT:lle, jolta Liikennevirasto on tilannut selvitystyön. LiCon-AT on suunnittelutoimisto, joka on erikoistunut ulko- ja urheilualueiden valaistuksen suunnitteluun. Se on perustettu 2003 ja se työllistää 10 henkilöä. LiCon-AT:n toimipaikat ovat Hyvinkäällä, Espoossa ja Tampereella.

Liikennevirasto on valtion virasto, joka vastaa Suomen teiden, vesiväylien ja rautateiden suunnittelusta, rakennuttamisesta ja ylläpidosta. Liikennevirastolla on 343 rautatieliikennepaikkaa ympäri Suomen, joista 106 on henkilöliikenteen käytössä, 147 tavaraliikenteen käytössä ja 90 henkilö- ja tavaraliikenteen käytössä [1]. Liikennevirastolla on n. 1 800 pienjänniteliittymää, jotka syöttävät näitä liikennepaikkoja. Liikennevirasto hakee tällä toimeksiannolla säästöä valaistuskustannuksiin.

Tässä työssä tutkitaan, olisiko rautatiealueiden valaistusta mahdollista himmentää öisin. Jos näin päätetään tehdä, niin se tulee vähentämään öistä häiriövaloa. Ilmalan ratapihan alueen häiriövaloa on tutkittu LiCon-AT:n raportissa. Häiriövalon huomioon ottaminen on tärkeää, koska maaliikennekeskuksen tontille on suunniteltu asuntoja [2; 3].

2 Yleisiä asioita ulkovalaistuksesta

Valaistuksen mittaamiseen on olemassa monia menetelmiä ja siihen liittyy monia johdannaisyksiköitä [4]. Alhaalla on lueteltu muutamia valaistuksen mittaamiseen liittyviä suureita.

Valovoima

Valovoima on SI-järjestelmän perussuure. Sen lyhenne on I ja yksikkö kandela, joka lyhennetään cd. Yhden kandelan valovoima vastaa 1/683 watin tehoisen säteilijän 1 steradianin avaruuskulmaan lähettämän valon määrää valon ollessa monokromaattista ja aallonpituudeltaan 555 nm.

Luminanssi

Luminanssi kuvaa sitä, kuinka kirkkaana jokin pinta näyttäytyy ihmissilmälle. Luminanssi on yhtä kuin valovoima jaettuna jollain tietyllä pinta-alalla. Sen kirjaintunnus on L ja yksikkö kandelaa neliömetrillä [cd/m²].

Valovirta

Valovirta on valonlähteen tuottaman valon kokonaismäärä. Sen tunnus on Φ ja yksikkö luumen [lm], joka vastaa yksikköä cd·sr.

Valotehokkuus

Valotehokkuus kuvaa sitä, kuinka paljon valoa jokin tietty valonlähde tuottaa kuluttaessaan tietyn määrän sähkötehoa. Sen tunnus on η ja yksikkö lm/W. Mitä suurempi valotehokkuus jollakin lampulla on, niin sitä tehokkaammin se muuttaa sähköenergian valoksi. Teoreettinen maksimi on 683 lm/W, jolloin valo on väriltään keltavihreää ja monokromaattista 555 nanometrin sähkömagneettista säteilyä.

Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuus kuvaa, kuinka suurelle pinta-alalle jokin tietty valovirta lankeaa. Sen tunnus on E ja yksikkö luks [lx], joka määritellään seuraavasti:

$$lx = \frac{lm}{m^2}, \quad (1)$$

missä lm tarkoittaa luumentä ja m² tarkoittaa neliömetriä.

Vaakatason valaistusvoimakkuus

Vaakatason valaistusvoimakkuudella tarkoitetaan vaakasuoralle pinnalle aikaansaattua valaistusvoimakkuutta. Sen tunnus on E_{hm} ja sen yksikkö on luks [lx].

Pystytason valaistusvoimakkuus

Pystytason valaistusvoimakkuudella tarkoitetaan pystysuoralle pinnalle aikaansaattua valaistusvoimakkuutta. Sen tunnus on E_{vm} ja sen yksikkö on luks [lx].

Puolisylinterivalaistusvoimakkuus

Puolisylinterivalaistusvoimakkuus on puolikkaan sylinterin ulkopinnalle aikaansaattu valaistusvoimakkuus. Se merkitään E_{sc} ja sen yksikkö on luks. Se mitataan kasvojen korkeudelta ja sillä on merkittävä vaikutus kasvojen tunnistamiseen.

Puolipallovalaistusvoimakkuus

Puolipallovalaistusvoimakkuus on puolikkaan pallon ulkopinnalle aikaansaattu valaistusvoimakkuus. Se merkitään E_{hs} ja sen yksikkö on luks.

Valovirran alenemakerroin

Valovirran alenemakerroin kuvaa, kuinka paljon valaistusta tulee ylivoimittua, jotta valaistusvaatimukset täytetään myös lamppujen hyötypolttoian lopussa. Tämä johtuu siitä, että lampun vanhetessa sen valontuotto pienenee. Myös valaisimen likaantuminen ja muovikuvun kellastuminen vaikeuttavat valon poispääsyä valaisimesta.

Häikäisy

Häikäisy on sitä, kun suoraan lampusta tuleva valo osuu silmään. Ulkovalaistuksen häikäisyä arvioidaan estohäikäisyn perusteella. Estohäikäisyä kuvataan luvulla GR, joka lasketaan valaisimen valottuneen pinnan alan ja luminanssin sekä taustaluminanssin perusteella.

Yleistasaisuus

Yleistasaisuus U_0 tarkoittaa sitä, miten suuria eroja luminanssissa tai valaistusvoimakkuudessa voidaan erottaa joltakin pinnalta. Yleistasaisuus lasketaan pienimmän ja keskiluminanssin tai keskivalaistusvoimakkuuden osamäärän avulla.

Värilämpötila

Värilämpötila kuvaa sitä, kuinka kuumaksi musta kappale tulee lämmittää, jotta sen lähettämä valo vastaisi tutkittavana olevaa valoa. 3 300 ja 5 300 kelvinin välillä olevia värilämpötiloja kutsutaan neutraalin valkoisiksi. Alle 3 300 kelvinin värilämpötiloja kutsutaan lämminsävyisiksi ja yli 5 300 kelvinin värilämpötiloja kutsutaan kylmänsävyisiksi.

Värintoistoindeksi

Värintoistoindeksi (R_a -indeksi) on tapa ilmoittaa jonkin lampun kyky toistaa värit verrattuna johonkin toiseen valonlähteeseen. Sen on kehittänyt CIE vuonna 1974. Värintoistoindeksi mitataan kahdeksan eri värin avulla ja sen arvo voi vaihdella välillä 0...100. Alle 5 300 kelvinin valonlähteitä verrataan hehkusäteilijään ja yli 5 300 kelvinin valonlähteitä päivänvalostandardeihin. Ledien värintoiston mittaamiseen R_a -indeksi ei ole enää käyttökelpoinen, koska sen arvot eivät vastaa todellisia tilanteita, ja sille ollaan kehittämässä korvaajaa.

Värilämpötilan ja värintoistoindeksin yhdistäminen

Värilämpötila ja värintoistoindeksi voidaan yhdistää yhdeksi kolminumeroiseksi koodiksi, mikä on yleistä loistelamppujen ollessa kyseessä. Tällainen koodi on usein kaksikanta-loistelamppujen toisessa päässä. Ensimmäinen numero on värintoistoindeksin ensimmäinen numero ja kaksi seuraavaa ovat värilämpötilan kaksi ensimmäistä numeroa.

Valonjako

Valonjako kuvaa sitä, kuinka paljon valoa valaisin päästää eri suuntiin. Valonjako esitetään yleensä napakoordinaatistossa ja sen arvot mitataan kahden akselin ympäri. Valonheittimien valonjako mitataan yleensä useamman kuin kahden akselin ympäri ja esitetään suorakulmaisessa koordinaatistossa.

Valaisinhyötysuhde

Valaisimen hyötysuhde on valaisimesta ulossaadun ja valonlähteen tuottaman valovirran suhde. Valaisinhyötysuhde mitataan käyttämällä Ulbrichtin palloa. Pallon avulla voidaan mitata suoraan valovirtaan verrannollinen valaistusvoimakkuus riippumatta pallon valaistusjakaumasta. Valaisimen hyötysuhde voidaan laskea kaavalla 2.

$$\eta = \frac{E_1 \cdot E_2}{E_3 \cdot E_4} \quad (2)$$

Kaavassa

E_1 on valaistusvoimakkuus, kun valaisin on päällä ja apulamppu pois päältä,
 E_2 on valaistusvoimakkuus, kun lamppu on pois päältä ja apulamppu päällä,
 E_3 on valaistusvoimakkuus, kun lamppu on päällä ja apulamppu pois päältä ja
 E_4 on valaistusvoimakkuus, kun valaisin on pois päältä ja apulamppu päällä.

2.1 Ulkovalaistuksen toteutustavat

Alhaalla on lueteltu erilaisia ulkovalaistuksen teknisiä toteutuksia. Useimmissa toteutuksissa voi käyttää mitä valonlähdettä tahansa.

Seinävalaistus

Haluttaessa seinävalaistusratkaisua valaisimet asennetaan seinälle, jolloin saadaan hyvä julkisivuvalaistus, eikä maakaapelointia, asennusjalkoja tai pylviä tarvita. Valaisimien valonjako tulee huomioida, kun määritetään niiden kallistuskulmia, jotta valo osuu mahdollisimman hyvin sinne, missä sitä tarvitaan.

Valaisinripustuskisko

Valaisinripustuskiskoilla saadaan aikaan pitkä ja tasainen asennusala, jolloin ripustusrakenteissa olevat epätasaisuudet voidaan välttää. Kannattimien asennusväli tulee valita mekaanisen kuorman mukaan ottaen huomioon valmistajan ohjeet. Tyypillisesti valaisinripustuskiskoa käytetään siltojen alla tai katoksissa.

Vaijeriasennus

Vaijeriasennuksessa valaisin tai valaisimet asennetaan vaijeriin, ja vaijerin päät voidaan asentaa esim. seinään, pylvääseen tai mastoon. Valaisimien syöttökaapelit kulkevat keskukselle vaijerin ja sen kiinnityskohtien kautta. Vaijeriasennusta käytetään, kun jokaista valaisinta ei ole tilankäytöllisistä syistä johtuen mahdollista asentaa omaan pylvääseen. Vaijereita voi myös olla useampi päällekkäin niin, että ne on liitetty yhteen pystysuunnassa, tuulen vaikutuksen vaimentamiseksi.

Valaisinpylväs

Valaisinpylväs voi olla tehty joko puusta tai metallista. Puupylvääseen pystytään kiipeämään tolppakengillä, mutta metalliseen pylvääseen ei pystytä kiipeämään. Puupylvään ollessa kyseessä syöttökaapeli kiinnitetään pylvääseen koko matkaltaan, ja metallipylvään ollessa kyseessä syöttökaapeli jätetään pylvään sisälle roikkumaan. Pylväässä on kytkentäluukku, jonka takana on sulake tai mahdollinen ohjauslaite.

Valonheitinmasto

Valonheitinmasto on korkeampi kuin valonheitinpylväs ja yleensä tehty metallista. On olemassa ristikkomastoja ja putkimastoja. Ristikkomastoa pitkin on mahdollista kiivetä sen yläpäähän. Valonheitinmasto on kalliimpi kuin valaisinpylväs, mutta sen avulla on mahdollista säästää huoltokustannuksissa, koska paikalle ei tarvitse tilata henkilönostinta, jos lamput on mahdollista vaihtaa kiipeämällä.

Pollarivalaistus

Pollarivalaisimet ovat noin metrin pituisia. Niillä ei varsinaisesti valaista maata, vaan luodaan valomerkkejä, joilla merkitään turvallinen kävelysuunta. Tämän vuoksi niitä käytetään vain jalankulkuväylien merkitsemiseen.

2.2 Ulkovalaistuksen valonlähteet

Ulkovalaistus voidaan toteuttaa monilla eri valonlähteillä. Alhaalla on lueteltu yleisimmät ulkovalaistuksessa käytetyt valonlähteet [5].

Suurpainenatriumlamppu

Suurpainenatriumlamppu on purkauslamppu, jonka valo on oranssia ja värintoistoindeksi noin 20. Suurpainenatriumlampun valontuotto perustuu natriumatomin viritystilan nostamiseen, jossa natriumatomin uloin elektroni hyppää lyhyeksi ajaksi ulommalle elektroni-kehälle. Kun tuo uloin elektroni palaa takaisin kehälleen, se lähettää fotonin.

Suurpainelampun hyötypolttoikä on lampusta riippuen 10 000...20 500 h, ja sen valotehokkus on noin 120 lm/W [6]. Sisältämänsä elohopean takia käytetty suurpainenatriumlamppu on ongelmajätettä. Suurpainenatriumlamppua on mahdollista himmentää säästömuuntajalla, jolloin kuristimen impedanssia nostetaan lampun lämmettyä, mikä pienentää virtaa ja valon määrää. Vähennettäessä suurpainenatriumlampun tehoa kahteen kolmasosaan sen valovirta pienenee puoleen [12]. Ilmalan ratapihalla lamput vaihdetaan kolmen vuoden välein, eli niiden hyötypolttoikä on 12 000 h.

Monimetallilamppu

Monimetallilamput on samankaltainen purkausputki kuin suurpainenatriumlamput, mutta siinä on natriumin suolojen lisäksi myös muiden metallien suoloja, jolloin valosta saadaan valkoista. Monimetallilamppuja on saatavilla 20 ... 2 000 watin tehoisina. Sisältämänsä elohopean takia käytetty monimetallilamppu on ongelmajätettä. Monimetallilamppua on myös mahdollista himmentää säästömuuntajalla, mutta sitä ei suositella, koska valon värintoistokyky huononee.

Loistelamppu

Loistelamppu on purkauslamppu, jonka purkausputkessa on elohopeaa ja jalokaasuja. Purkausputken sisäpinta on päällystetty loisteaineella. Kun elohopeahöyryn läpi virtaa sähkövirta, se ionisoi elohopea-atomeita, jotka lähettävät ultraviolettisäteilyä. Loisteaine muuttaa ultraviolettisäteilyn valoksi.

Loistelamppuja on saatavilla monen kokoisina ja monessa valon värisävyssä. Sisältämänsä elohopean takia käytetty loistelamppu on ongelmajätettä. On olemassa myös ulkokäyttöön soveltuvia loistelamppuja. Liikennevirasto käyttää omissa ulkovalaisimissaan pitkäikäisiä loistelamppuja.

Led-teknologia

Ledit ovat puolijohdekomponentteja, joissa kahta erilaista puolijohdetta on asetettu vierekkäin, ja kun virta kulkee näiden molempien läpi, niin fotoneja vapautuu. Ledivalonlähde vaatii toimiakseen elektronisen vakiovirtalähteen. Ledivalonlähteen valo on valkoista, se syttyy välittömästi ja sitä voi himmentää täysin portaattomasti. Valkoinen valo saadaan aikaan niin, että sinistä valoa lähettävän ledin päälle levitetään loisteainekerros.

2.3 Himmennystavat ja -tekniikat

Aikojen saatossa on kehittynyt erilaisia himmennystekniikoita. Alla esitellään niistä yleisimmät. Tässä työssä käytetään säästömuuntajaa Ilmalan ratapihalla ja 1-10 V:tä Lepävaaran rautatieasemalla. Joillain himmennystavoilla on mahdollista himmentää valaisimia ryhmänä, mutta toisilla on mahdollista ohjata yksittäisten valaisimien himmennystä.

Säätövastus

Ennen elektroniikan kehityksen alkamista lamppuun pääsevää virtaa säädettiin säätövastuksella, jonka väliulosottoa säädettiin käsivoimin. Säätövastushimmennystä ei ole käytetty enää 1960-luvun jälkeen. Säätövastuksella on ollut mahdollista himmentää valaisimia ryhmänä.

Säästömuuntaja

Säästömuuntaja on kuristin, jonka käämi on jaettu moneen osaan. Kontaktorien avulla voidaan valita käyttöön mikä tahansa väliulosotto. Säästömuuntajalla on mahdollista himmentää valaisimia ryhmänä.

1-10 V

1-10 V:tä käytetään elektronisten liitäntälaitteiden kanssa. Liitäntälaitteelle tuodaan käyttöjännitteen lisäksi ohjausjännite, joka 1-10 V:n tapauksessa on välillä 1...10 V. 1 V vastaa pienintä himmennystasoa, 10 V suurinta mahdollista tehoa ja 0 V sitä, että valaisin on kokonaan sammuneena. 1-10 V:llä on mahdollista himmentää valaisimia ryhmänä.

DALI

DALI on digitaalinen himmennysprotokolla, jota käytetään elektronisten liitäntälaitteiden kanssa. Liitäntälaitteelle tuodaan käyttöjännitteen lisäksi kaksi ohjausjohdinta, joiden täytyy olla hyväksytty 230 voltilla. DALI:lla on mahdollista himmentää yksittäisiä valaisimia.

3 Valaistusvaatimukset rautatiealueilla

Suomessa ratapihojen valaistusta sääntelee Liikennevirasto, joka on julkaissut aiheeseen liittyvän Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu -ohjeen [7]. Se perustuu SFS:n standardiin 12464-2 ja määrittelee valaistusvaatimukset kaikille ratapihan osille. Juna itse ei tarvitse valaistusta, koska siinä on ajovalot [8]. Seuraavissa taulukoissa E_{hm} tarkoittaa vaakatason valaistusvoimakkuutta, E_{vm} pystytason valaistusvoimakkuutta, U_o pienimmän valaistusvoimakkuuden suhdetta valaistusvoimakkuuden keskiarvoon, U_d pienimmän valaistusvoimakkuuden suhdetta suurimpaan valaistusvoimakkuuteen, R_{GL} estohäikäisyn määrää ja R_a yleistä värintoistoindeksiä.

Taulukko 1. Valaistustekniset vaatimukset matkustaja-alueilla.

Matkustaja-alueet	E_{hm}	U_o	U_d	R_{GL}	R_a
Avoimet asemalaiturit					
Pienet asemat	10	0,25	0,13	50	20
Keskisuuret asemat	20	0,4	0,20	45	60
– vilkas toiminta	50	0,4	0,25	45	60
Suuret asemat	50	0,4	0,25	45	60
Asemalaiturit, laiturikatos					
Pienet asemat	20	0,4	0,25	50	60
Keskisuuret asemat	50	0,5	0,33	40	60
Suuret asemat	100	0,5	0,33	35	80
Täysin suljetut laiturialueet					
Pienet asemat	100	0,4	0,25		60
Suuret asemat	200	0,5	0,33		60
Asematunnelit					
Pienet asemat	50	0,5	0,33		60
Keskisuuret ja suuret asemat	100	0,5	0,33		60
Avoimet portaat					
Pienet asemat	30	0,4	0,2	45	20
Keskisuuret ja suuret asemat	50	0,5	0,2	45	60
Katetut portaat					
Pienet asemat	50	0,4	0,2	45	20
Keskisuuret ja suuret asemat	100	0,5	0,2	45	60
Kulkureitit P-luokkien mukaisesti					
Pienet asemat (P4)	5				20
Keskisuuret ja suuret asemat (P2)	10				20
Pysäköintialueet (P2)	10	0,4			20

Ratapihojen valaistus tulee suunnitella ratapihojen valaistusteknisten vaatimusten mukaan, jotka on lueteltu taulukossa 2.

Taulukko 2. Valaistustekniset vaatimukset ratapihoilla

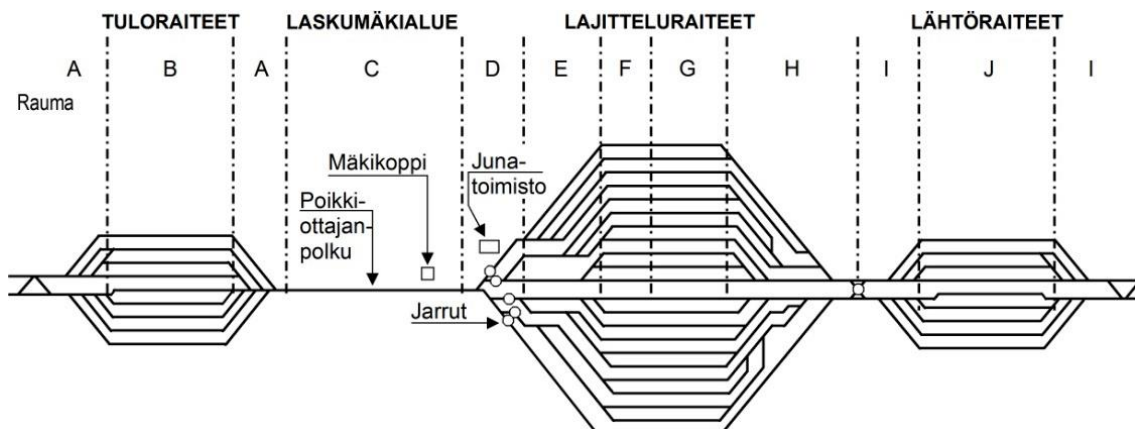
Ratapiha-alueet	E_{hm}	E_{vm}	U_o	U_d	R_{GL}	R_a
<i>Tavara-alueet</i>						
Trukkien, nosturien ja autojen liikennealue	20		0,50	0,33	45	20
Avokuormausraiteet	20		0,40	0,20	50	20
- vähäinen toiminta	10		0,25	0,13	50	
- vilkas toiminta	50		0,40	0,25	45	
Katetut kuormausraiteet	50		0,40	0,20	40	60
- vilkas toiminta	100		0,50	0,33	40	60
Konttinosuriraitteet	20	10	0,40	0,20	50	60
- vilkas toiminta	50	20	0,40	0,20	45	60
Vaihtotyöratapiha						
Vaihdealue	10		0,40	0,20	50	20
Ratapihan keskiosa	10		0,40	0,20	50	20
- jos työ on jatkuvaa	15		0,40	0,20	45	20
Vetoraide	10		0,50	0,33	50	20
Vaunujen ja vetureiden huolto-, korjaus- ja säilytys-alueet						
Matkustajavaunujen puhdistusraiteet	10		0,40	0,20	50	20
Matkustajavaunujen huoltoraiteet	20		0,40	0,33	45	20
- vilkas toiminta	50		0,50	0,33	45	20
Matkustajavaunujen pesuraiteet	20	10	0,40	0,33	45	60
- vilkas toiminta	50	20	0,50	0,33	45	60
Vaunujen huoltoraiteet	20		0,40	0,20	40	20
Vaunujen korjausraiteet	50	50	0,50	0,33	40	20
Vaunujen säilytysraiteet	5		0,25	0,13	50	20
Veturien säilytysraiteet	10		0,40	0,20	50	20
Pienet ratapihat ja yksittäiset raiteet						
Vaihdealue	10		0,40	0,20	50	20
Ratapihan keskiosa	10		0,25	0,13	50	20
Raiteet henkilöasemilla, varikoilla ja konepajoilla						
- vähäinen toiminta	10		0,40	0,20	50	20
- vilkas toiminta	15		0,40	0,20	50	20

Muu alueen valaistus tulee suunnitella työskentelyalueen ympäristön valaistusteknisten vaatimusten mukaan, jotka on lueteltu taulukossa 3.

Taulukko 3. Työskentelyalueen ympäristön valaistustekniset vaatimukset

Työskentelyalueen keskimääräinen valaistusvoimakkuus E_{hm} [lx]	Työskentelyalueen ympäristön keskimääräinen valaistusvoimakkuus E_{hmy} [lx]
≥ 500	100
300	75
200	50
150	30
$50 \leq E_{hm} \leq 100$	20
< 50	sama kuin työskentelyalueella

Järjestelyratapihojen valaistusvaatimukset on laadittu niin, että vaunujen lajittelu olisi mahdollisimman vaivatonta. Kuvassa 1 on esimerkki järjestelyratapihan pohjakuvasta.



Kuva 1. Esimerkki järjestelyratapihasta

Järjestelyratapihan valaistustekniset vaatimukset on lueteltu taulukossa 4.

Taulukko 4. Järjestelyratapihojen valaistustekniset vaatimukset

Järjestelyratapihat	E_{hm}	E_{vm}	U_o	U_d	R_{GL}	R_a
Tuloraiteet						
Vaihdealue (A)	10		0,40	0,20	50	20
Ratapihan keskiosa (B)	15		0,40	0,20	45	20
Laskumäki-alue						
Poikkiottajan alue (C)	50	20	0,50	0,20	40	60
Mäen harja, vaununumeron lukumäki (C)	20	50	0,50	0,20	40	80
Lajitteluraiteet, käsin ohjattu						
Hiljennys hiljennyskiskolla (D)	20		0,40	0,20	45	20
Vaihdealue, laskumäen pää (E)	15		0,40	0,20	45	20
Hiljennysalue jarrukengällä (F)	15		0,40	0,20	45	20
Lajitteluraiteet, automaattiohjatut						
Paikalliset raidejarrut (D)		50	0,50	0,33	40	20
Jatkuvat raidejarrut (D)	15		0,40	0,20	45	20
– vilkas toiminta	20		0,40	0,20	45	20
Vaihdealue, laskumäen pää (E)	15		0,40	0,20	45	20
– vilkas toiminta	20		0,40	0,20	45	20
Lajitteluraiteet, keskiosa (G)	15		0,40	0,20	45	20
Vaihdealueet, lähtöpää (H)	10		0,40	0,20	50	20
Lähtöraiteet						
Vaihdealue (I)	10		0,40	0,20	50	20
Ratapihan keskiosa (J)	10		0,25	0,13	50	20

Taulukon 5 mukaan sekä Ilmalan ratapiha että Leppävaaran rautatieasema sijaitsevat esikaupunkialueella, joten E3-alueen rajoja sovelletaan.

Taulukko 5. Alueluokittelu

Alue	E1	E2	E3	E4
Ympäristö	luonnon-tilainen	maalaismainen	esikaupunki	kaupunki
Valaistus-ympäristö	pimeää	vähäistä alueellista valaistusta	keskitasoista alueellista valaistusta	voimakasta alueellista valaistusta
Esimerkiksi	kansallispuisto	teollisuus- tai asuin-alueet maaseudulla	teollisuus- tai asuin-alueet esikaupunkialueella	kaupunkien keskustat tai kauppa-alueet

Taulukossa 6 on lueteltu, millaiset vaatimukset kullakin alueella oleville valaistusasennuksille on asetettu.

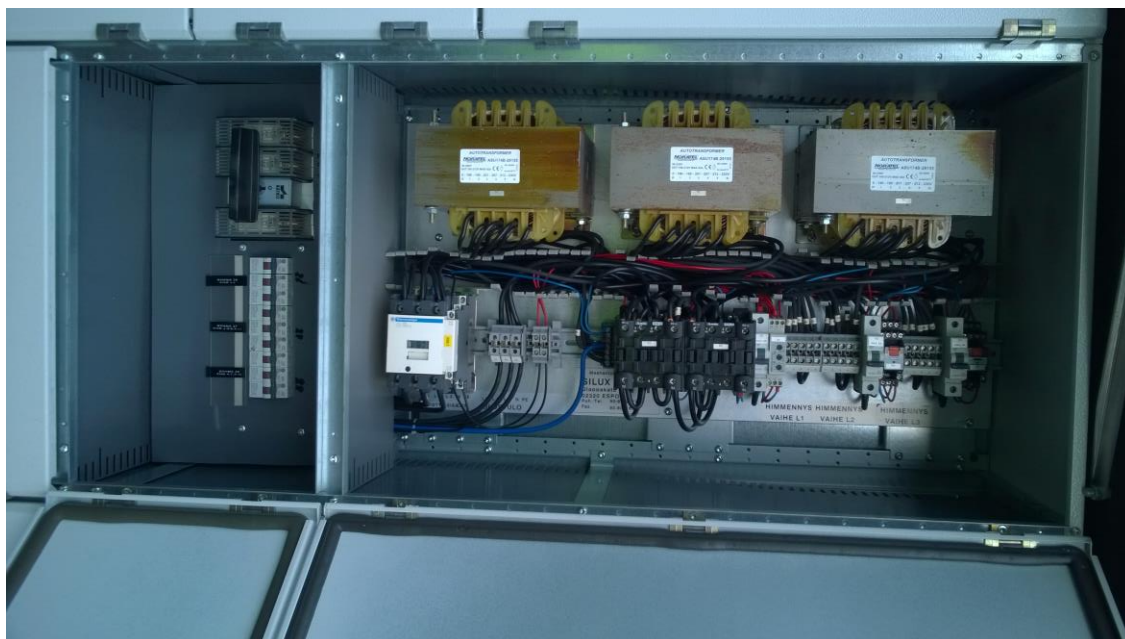
Taulukko 6. Häiriövalon raja-arvot

Alue	Asennuksen yläpuolinen valo	Valaistusvoimakkuus ikkunoissa		Valovoima kohteeseen		Rakennusten pintojen luminanssi	
	ULR %	E_v (lx)		I (kcd)		Julkisivu L_b (cd/m ²)	Merkki tai mainos L_s (cd/m ²)
		ilta-aika	yöaika	ilta-aika	yö-aika	ilta-aika	
E1	0	2	1	2,5	0,0	0	50
E2	5	5	1	7,5	0,5	5	400
E3	15	10	2	10	1,0	10	800
E4	25	25	5	25	2,5	25	1000

4 Valaistuksen ohjausmahdollisuudet

4.1 Ilmalan ratapiha

Ilmalan ratapiha sijaitsee Helsingissä, Postin lajittelukeskuksen ja maaliikennekeskuksen välissä. Siellä on junatalleja, jotka toimivat kaikkien Helsinkiin saapuvien junien yöpymispaikkana ja huoltotasoja, joilla tehdään vaunujen tarvitsemat huoltotoimenpiteet. Huoltotasot on yhdistetty junatalleihin ylikulkusillalla. Ilmalan ratapiha on saneerattu vuosina 2006 – 2012 [9]. Valaistusohjauskeskuksiin on asennettu säästömuuntajat, jotka ääriasennossaan vähentävät lampujen syöttöjännitteen 230 voltista 190 volttiin.



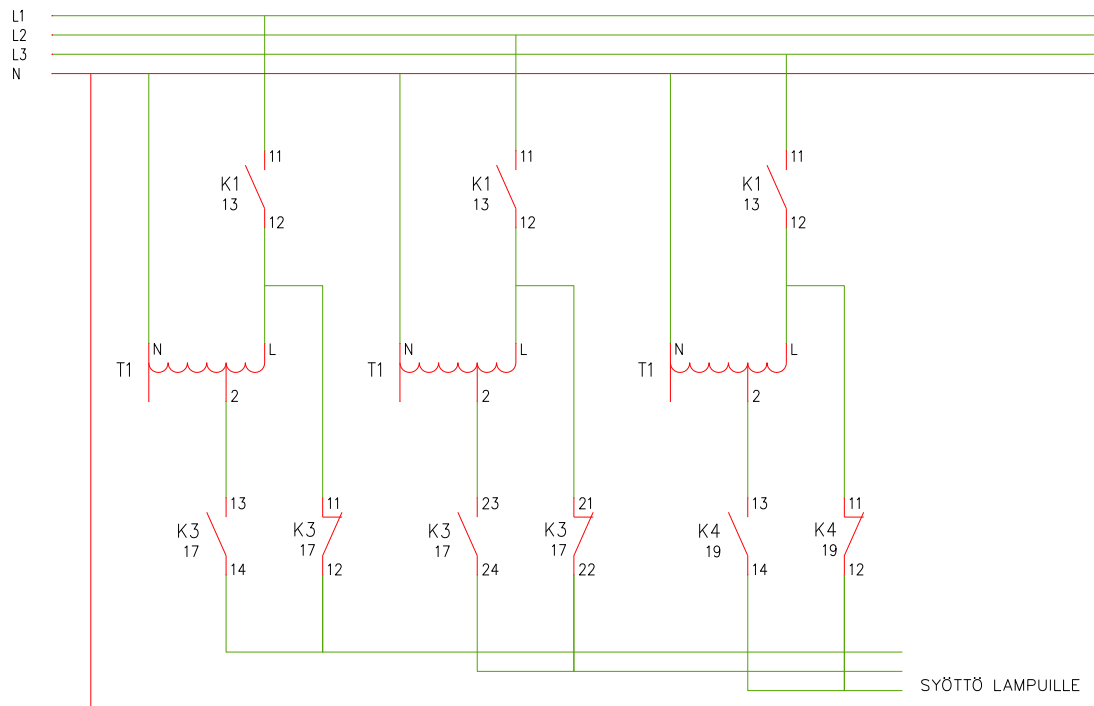
Kuva 2. Valaistusohjauskeskuksen säästömuuntajaryhmä

Valaistusohjauskeskuksiin on myös asennettu hämäräkytkin ja kellokytkin, joka on ohjelmoitavissa päivä-, viikko- ja vuositasolla. Kellokytkintä ei ole kuitenkaan ohjelmoitu, eikä valaistusta ole mahdollista kauko-ohjata. Kaikissa valaistusohjauskeskuksissa on vähintään kaksi käyttämätöntä ohjausjohdinta, mikä mahdollistaisi säätöryhmäkohtaisen valaistuksen himmennuksen [10]. Valaistusohjauskeskuksen kellokytkimen kanavista vain toinen on kytketty ohjaamaan valaistuksen himmennystä, ja tällä kanavalla ohjataan varikon länsilaidassa olevan junien siivoustason valaistuksen himmennystä. Kyseisessä keskuksessa olisi mahdollista ottaa käyttöön toinenkin kellokytkimen kanava, jolla voisi ohjata junien huoltotason valaistuksen himmennystä.

Ilmalan ratapihan valaistusta ohjataan kontaktoreilla ja säästömuuntajilla. Himmennys voisi alkaa esim. 2 h ennen ja 5 h jälkeen pimeän ajan keskipisteen [11]. Myös II-tehoa on mahdollista vähentää säästömuuntajan avulla, jos valaistusvoimakkuus pysyy vaatimusten mukaisena.

Päävirtapiiri

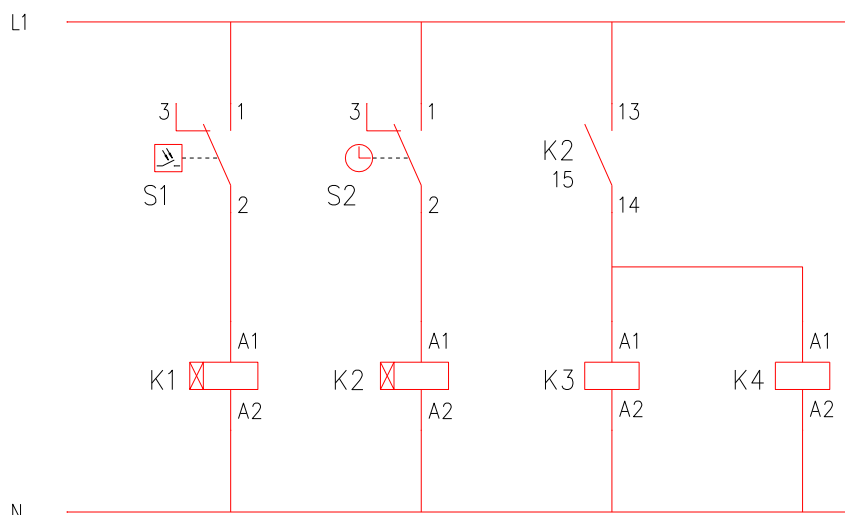
Päävirtapiirissä on 3 kontaktoria ja 3 säästömuuntajaa, joita ohjataan ohjausvirtapiirillä.



Kuva 3. Valaistuskeskuksen päävirtapiirin piirikaavio

Ohjausvirtapiiri

Ohjausvirtapiiri toimii niin, että hämäryhtikimen S1 sulkeutuessa kontaktori K1 sulkeutuu ja alueen valot syttyvät II-teholle ja alkavat lämmitä täyteen kirkkauteen. Kun myös kel-lokytkin S2 sulkeutuu, niin kontaktorit K3 ja K4 vaihtavat tilaa, jolloin lamppujen jännite vaihtuu täydestä jännitteestä siihen jännitteeseen, johon säästömuuntajan T1 toisio on johdotettu, ja valot himmenevät I-teholle.



Kuva 4. Valaistusohjauskeskuksen ohjausvirtapiirin piirikaavio

On olemassa myös muita tapoja ohjata valaistuksen himmennystä edellä mainitun kellokytkimellä ohjatun himmennystavan lisäksi.

4.2 Junien liikkuminen alueella

Himmennystä on mahdollista ohjata sen mukaan, kuinka junia liikkuu ratapihalla. Tämä tieto on mahdollista saada Ilmalan ratapihan asetinlaitteelta.

4.3 Painonappi tai kytkin

Ylikulkusillan portaiden ylä- tai alapäähän on mahdollista asentaa painonapit, joilla tietyn huoltotason valaistus voidaan asettaa täydelle teholle halutuksi ajaksi, esim. 4 tunniksi. Valaistuksenohjauskeskukseen pitää tällöin asentaa päästöhidasteinen rele. Toinen mahdollisuus on hankkia painonappitieto kulunvalvontajärjestelmältä ja varmistaa oven aukeaminen magneettikytkimeltä.

4.4 Liiketunnistin

Teoriassa valon himmennystä olisi mahdollista ohjata myös liiketunnistimella. Tavallisten PIR- ja tutkaliiketunnistimien tunnistusetäisyys, mikä on yleensä enintään 16 m, ei kuitenkaan riitä alkuunkaan, jos valonheitinmastojen asennusväli on 150 m. Jos työntekijöiden liikkumista alueella halutaan jotenkin havainnoida, niin on suositeltavampaa toteuttaa se linjailmaisimilla, joiden toimintaetäisyys voi olla jopa 200 m. Linjailmaisimienkin kanssa voi tulla ongelmia, jos niitä sijoitetaan vain sellaisiin paikkoihin, joista työntekijät eivät välttämättä kulje ohi. Linjailmaisimia on yleensä käytetty hälytinjaikarjestelmissä, mutta ne soveltuvat myös valaistuksen ohjaukseen.



Kuva 5. Tyypillinen linjailmaisin

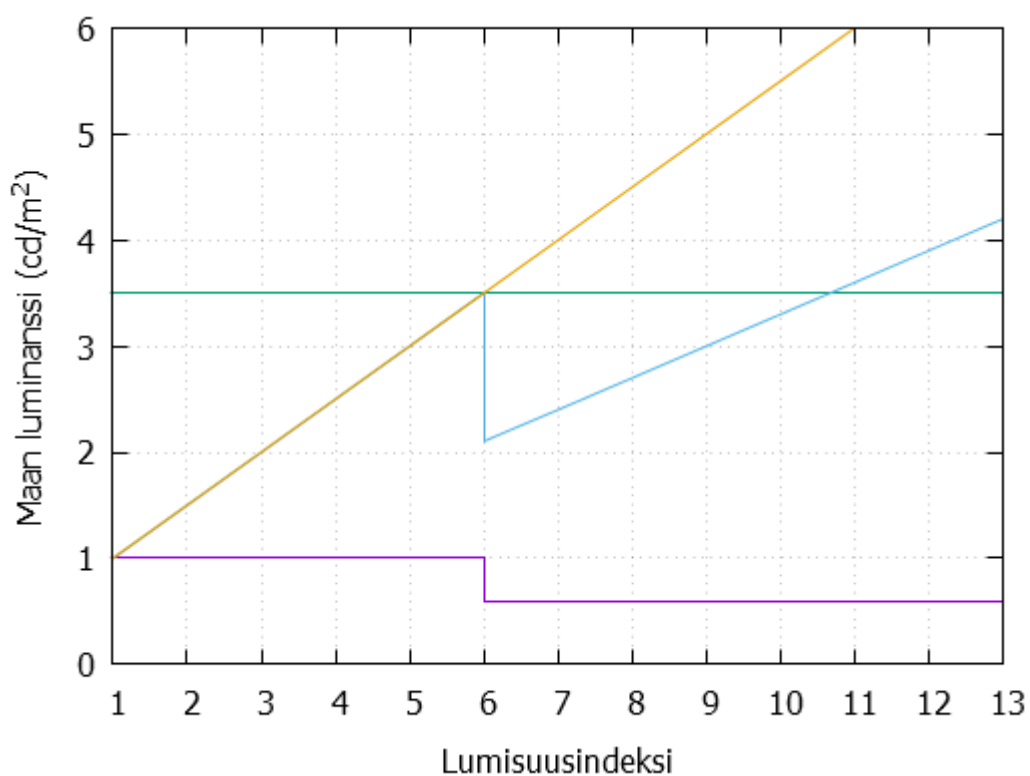
4.5 Luminanssikamera

On olemassa luminanssikameroita, jotka mittaavat maan luminanssia ja muuntavat sen esim. 0...10 V jännitteeksi tai 4...20 mA virraksi.



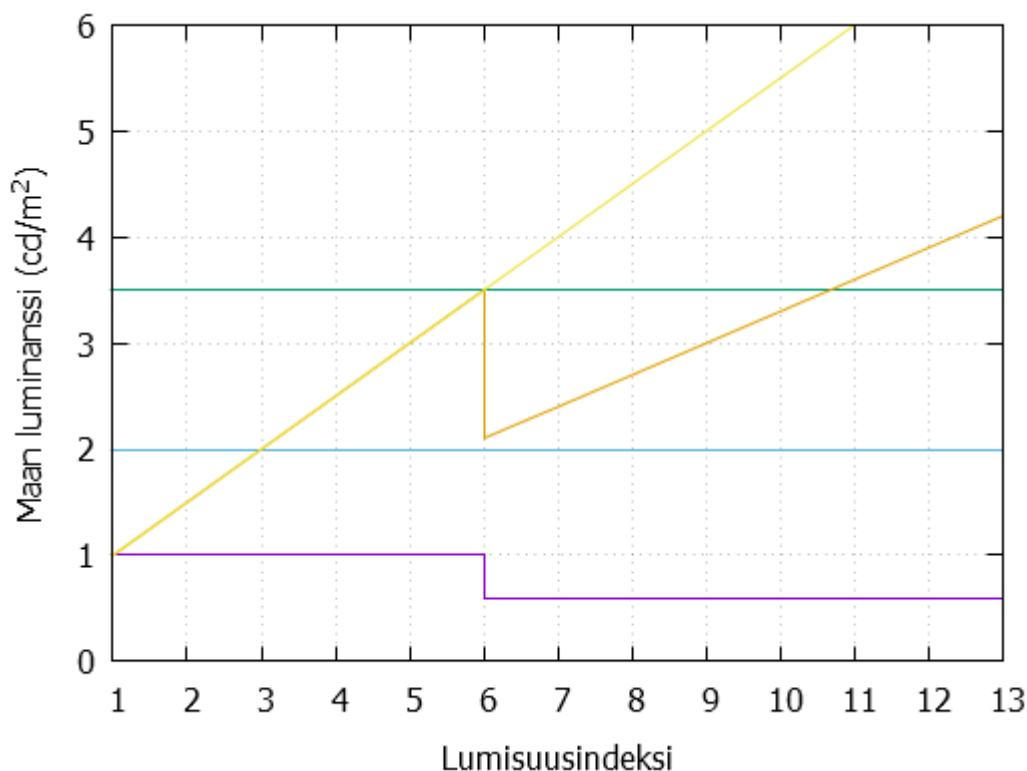
Kuva 6. Hagner TLS-420 -luminanssikamera, jossa on myös suojalasin pyyhkijä. Kyseessä on Suomen suosituin luminanssikamera. Suomessa käytetyssä mallissa ei ole suojalasin pyyhkijää.

Käytettäessä luminanssikameraa keskusyksikön ohjelmoinnin täytyy olla sellainen, että himmennys ei jää välkkymään päälle ja pois. Tämä onnistuu, kun keskusyksikön ohjelmointiin lisätään hystereesiominaisuus. Hystereesi tarkoittaa, että himmennuksen päälle- ja poiskytkennälle on eri raja-arvo. Kuva 7 kuvaa maan luminanssia silloin, kun hystereesiominaisuutta ei ole. Tällöin järjestelmä jää värähtelemään, kun keltainen ja sininen viiva ovat raja-arvon eri puolilla, eli kun lumisuusindeksi on välillä 6...10,6. Kuvassa keltainen viiva kuvaa maan luminanssia himmennuksen ollessa pois päältä, sininen viiva luminanssia himmennuksen ollessa päällä, vihreä viiva himmennuksen päälle- ja poiskytkennän raja-arvoa ja lila viiva suhteellista valaistustehoa.



Kuva 7. Maan luminanssi lumisuusindeksin funktiona silloin, kun järjestelmässä ei ole hystereesiominaisuutta.

Kuva 8 puolestaan kuvaa järjestelmän toimintaa, kun siinä on erilliset raja-arvot himmentyksen päälle kytkenälle ja poiskytkenälle.



Kuva 8. Maan luminanssi lumisuusindeksin funktiona silloin, kun järjestelmässä on eri raja-arvot himmennyksen päälle- ja poiskytkennälle.

Merkitään täyttä valotehoa 100 %:lla ja himmennettyä valotehoa 60 %:lla. Tällöin himmennyksen päällekytkennän raja-arvon tulee olla vähintään $100 \% \cdot L$ ja poiskytkennän raja-arvon enintään $60 \% \cdot L$.

4.6 Himmennyksen kauko-ohjaus

Himmennystä olisi mahdollista ohjata etänä esim. KNX:n välityksellä. Matkapuhelinverkko olisi teknistaloudellisesti edullisin viestintäkanava, koska kaikki infrastruktuuri olisi jo olemassa. Esim. ABB:llä on mallistossaan väylämuuntimia, jotka pystyvät välittämään viestejä KNX-väylän ja matkapuhelinverkon välillä. Väylään tulisi väylämuuntimen lisäksi lisätä virtalähde sekä lähtöyksiköitä, jotka ohjaavat 230 voltin kontaktoreja, ja väylämuuntimen vaatima lisäjännitesyöttö. Tällaisen järjestelmän puhelinnumero kannattaa pitää salassa niin hyvin kuin mahdollista. Taulukossa 7 on lueteltu näiden komponenttien hintatietoja. Hinnat on tarkistettu SLO:n verkkokaupasta 6.3.2016.

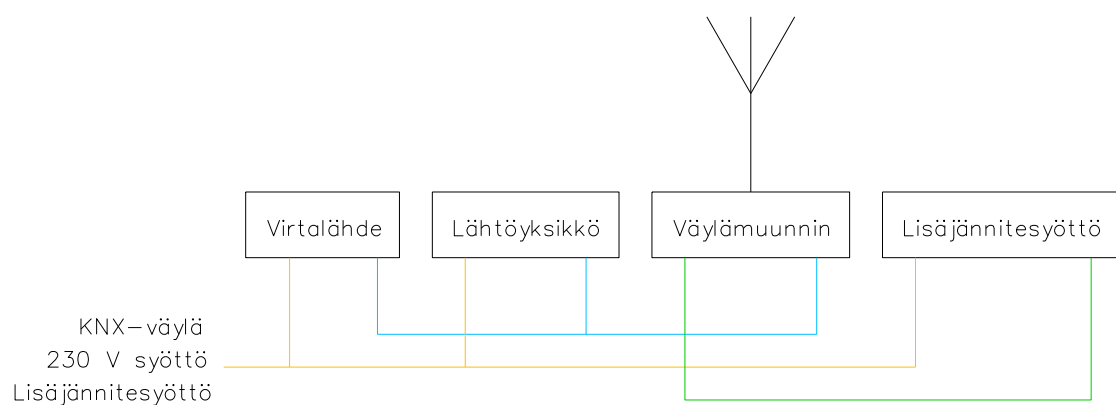
Taulukko 7. KNX-järjestelmän komponenttien hintatietoja

Tuote	Hinta (€)
Virtalähde 160 mA	179
Kytkeyksikkö neljällä lähdöllä	183
Väylämuunnin GSM-yhteydellä	2 350
Väylämuunnin ilman GSM-yhteyttä	2 310
KNX/IP-rajapinta	302
Lisäjännitesyöttö	114



Kuva 9. ABB:n KNX/IP-väylämuunnin GSM-yhteydellä.

Kuvassa 8 on esitetty, miten KNX-laitteet kytketään.



Kuva 10. KNX-väylän ja 230 V johdotusten periaatekaavio

4.7 Leppävaaran rautatieasema

Leppävaaran rautatieasema sijaitsee rantaradalla ratakilometrillä 11,0. Sen läheisyydessä on mm. kauppakeskus Sello ja Metropolian toimipiste.



Kuva 11. Leppävaaran aseman katos ja portaikko.

Leppävaaran aseman katos on valaistu 312:lla 20 watin led-valaisimella, jotka on asennettu kuudelle laiturille. Valaisimissa on 1-10 voltin himmennysmahdollisuus, mutta sitä ei ole vielä kytketty mihinkään.



Kuva 12. Katoksen alla oleva led-valaisin

4.8 Valaistuksen ohjauksen toteutus KNX:llä

Yrittäkäämme ensin ajatella, kuinka hyvin valaistuksen ohjaus onnistuisi KNX:llä, joka on avoin ja valmistajariippumaton järjestelmä. Teoriassa IP20-kotelointiluokka riittäisi, jos koje asennetaan ulkotilan kattoon, mutta käytännössä kuitenkin edellytetään vähintään IP44-kotelointiluokkaa. ABB valmistaa Vahti-Jussi-liiketunnistimia, jotka on tarkoitettu asennettavaksi seinälle, mutta jotka voidaan asentaa myös kattoon. Sellainen maksaa 255 e / kappale. Seinälle 2,5 metrin korkeuteen asennettuna liiketunnistin tunnistaa liikkeen korkeintaan 16 metrin etäisyydeltä.

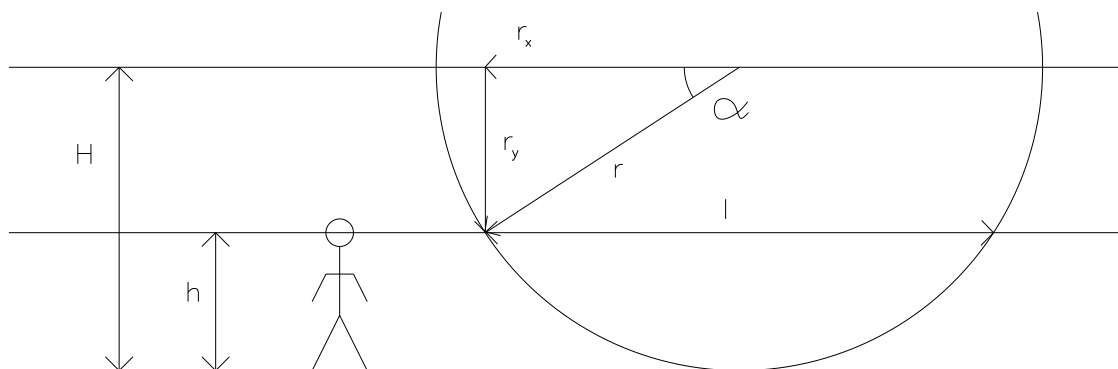


Kuva 13. ABB IP54-liiketunnistin KNX-järjestelmään

Liiketunnistimien lisäksi tarvitaan moduuleita, jotka ohjaavat valaisimien kirkkautta 1-10 V -protokollan kautta.

4.9 Liiketunnistimien asennusvälin laskenta

Leppävaaran asemalla liiketunnistimet voidaan asentaa kattoon, jolloin asennuskorkeus on 4,100 m. Lisäksi tiedetään, että ABB:n IP54-liiketunnistin tunnistaa liikkeen seinälle 2,5 metrin korkeuteen asennettuna korkeintaan 16 metrin etäisyydeltä. Asennettaessa liiketunnistin kattoon nämä luvut eivät enää päde, joten ne täytyy laskea.



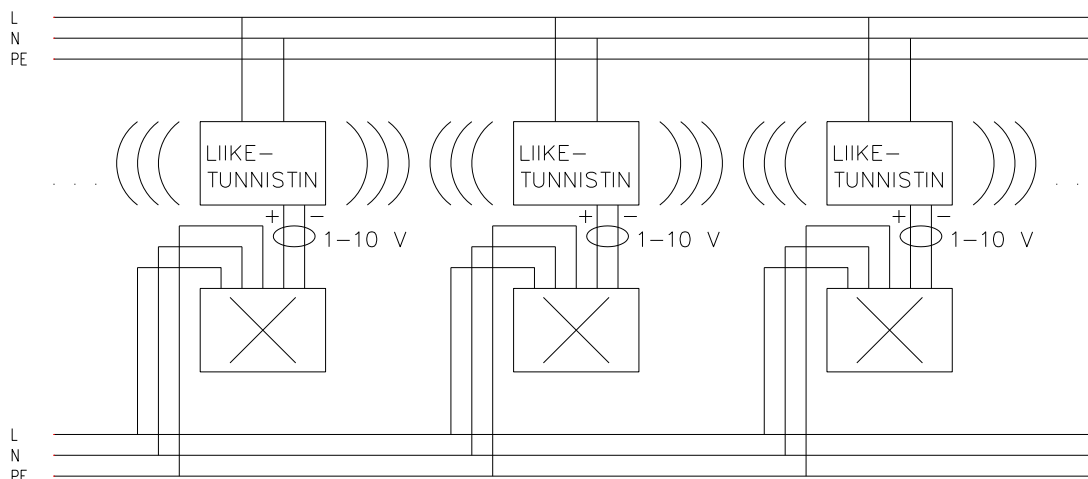
Kuva 14. Asennusvälin laskenta

Kuvassa 14 h kuvaa henkilön pituutta metreinä, joten oletetaan, että kyseessä on lyhyenpuoleinen henkilö ja $h = 1,5$ m. Leppävaaran aseman tapauksessa $H = 4,100$ m. ABB:n IP54-liiketunnistimen tapauksessa $r = 16$ m. Halutaan tietää, paljonko r_x on näillä arvoilla.

Tiedetään, että etäisyys henkilön päästä liiketunnistimeen $r_y = H - h$, liiketunnistimien suurin mahdollinen asennusväli $l = 2 \cdot r_x$ ja Pythagoraan lauseen mukaisesti $r_x = \sqrt{r^2 - r_y^2}$. Näin saadaan $l = 2\sqrt{r^2 - (H - h)^2} = 2\sqrt{(16 \text{ m})^2 - (4,100 \text{ m} - 1,5 \text{ m})^2} = 31,574$ m. Liiketunnistimia voidaan siis asentaa tämän matkan välein. Koska valaisimet on asennettu 4,850 metrin päähän toisistaan, niin yhdellä puolen yksi tunnistin voisi ohjata $n = \frac{31,574 \text{ m}}{4,850 \text{ m}} = 6,5 \approx 6$ valaisinta. Saattaa olla, että niillä laiturin osuuksilla, joilla porraskäytävä ei ole tiellä, riittää yksi liiketunnistin laiturin molemmille puolille, jolloin yhteen liiketunnistimeen voitaisiin kytkeä jopa 12 valaisinta.. Niissä kohdin, joissa porraskäytävä on tiellä, saatetaan joutua tyytymään 6 valaisimeen per tunnistin. Tämä tarkoittaa, että liiketunnistimia tarvitaan 26...52 kappaletta.

4.10 Valaistuksen ohjauksen toteutus Lumine Oy:n järjestelmällä

Yrittäkäämme myös ajatella, miten valaistuksen ohjaus toteutettaisiin jonkin toisen valmistajan tuotteilla. Tällainen voisi olla Lumine, jonka liiketunnistimien asennuskorkeudeksi suositellaan 3...6 m, mikä vähentää vandalismin mahdollisuutta.



Kuva 15. Ehdotus Leppävaaran aseman valaistuksen himmennuksen ohjauksen periaatekaavioksi

Kuvasta 13 näemme, että nämä liiketunnistimet vaihtavat tietoa keskenään langattomasti, mikä tarkoittaa sitä, että niiden välille ei tarvitse vetää kaapeleita. Niille tarvitsee vetää vain tehonsyöttökaapelit ja ohjausjännitekaapelit.

5 Säästölaskelmat

5.1 Ilmalan ratapiha ohjattuna kellokytkimellä

Työhöni kuuluu olennaisena osana myös säästölaskelma Ilmalan ratapihasta ja Leppävaaran asemasta. Ilmalan alueella on 101 kpl 400 watin valonheittimiä ja 24 kpl 600 watin valonheittimiä. Näistä arvoista voidaan johtaa seuraavat energiankulutus- ja säästölaskelmat.

Taulukko 8. Säästölaskelma Ilmalan ratapihalle

Sähkön hinta	44,77	€/MWh
Alkukustannukset:		
Kokonaisteho	54,8	kW
Valaistuksen keskimääräinen päälläoloaika vuodessa	4 000	h/a
Kokonaisenergia	219,2	MWh/a
Kokonaiskustannus:	9 813,59	€/a
Säästöt:		
Kokonaistehon ja alennetun tehon erotus	21,92	kW
Himmennyksen keskimääräinen käyttöaika vuodessa	2 555	h/a
Säästetty energia	56	MWh/a

Säästetty raha	2 507,12	€/a
Muutuskustannukset:		
Kellokytkimien ohjelmointi ja johdotus	10	h
Tuntiveloitus	56	€/h
Asennuskustannus	560	€
Muutuskustannukset yht.	560	€
Takaisinmaksuaika	1,669	a

Takaisinmaksuaika on 1 vuosi 8 kuukautta, mitä voidaan pitää sängen kohtuullisena.

5.2 Ilmalan ratapiha luminanssikameralla ohjattuna

Yhden TLS-420/S -luminanssikameran hinta on 6 000 € ja EH-150 -ohjauslogiikan hinta on 6 400 €. Takaisinmaksuajan laskeminen on vaikeaa, koska kaikki talvet eivät ole yhtä lumisia.

5.3 Säästölaskelma Leppävaaran asemaa varten

Arvioidaan, että valaistuksen himmennyksellä voidaan jokaista valaisinta himmentää keskimäärin 2/3 vuotuisesta polttoajasta (4 000 h). Yhden valaisimen teho on 20 W, himmennetyn valaisimen perusvalotaso on 30 % maksimista ja valaisimia on 312 kpl. Näin voidaan johtaa seuraava kaava säästetylle energialle:

Lasketaan ensin vuoden aikana kulutettu kokonaisenergia.

$$E = P \cdot n \cdot t = 20 \text{ W} \cdot 312 \cdot 4\,000 \text{ h} = 24,96 \text{ MWh}$$

Tämän energian kustannukseksi saadaan, olettaen edelleen $k = 44,77 \text{ €/MWh}$,

$$K = 24,96 \text{ MWh} \cdot 44,77 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 1\,117,46 \text{ €}.$$

Säästetty energia on

$$E_{\text{säästetty}} = (P_{\text{täysi}} - P_{\text{himmennetty}}) \cdot n \cdot t = (20 - 6) \text{ W} \cdot 312 \cdot \frac{2}{3} \cdot 4\,000 \text{ h} = 11,65 \text{ MWh}$$

Rahaa säästyy vastaavasti

$$K_{\text{säästetty}} = 14,98 \frac{\text{MWh}}{\text{a}} \cdot 44,77 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 521,48 \text{ €/a}.$$

Lasketaan seuraavaksi Luminen järjestelmän hankintakustannukset. Yhden liiketunnistimen hinta on 100 €. Yksi liiketunnistin ohjaa kolmea valaisinta eli liiketunnistimia tarvitaan 104 kappaletta. Lisäksi tarvitaan keskusyksikkö, joka maksaa 350 €. Järjestelmän ylläpitomaksu on 150 € vuodessa [12]. Kaapeloinnin ja työn kustannuksiksi arvioidaan 15 000 € ja kytkentätöiden kustannuksiksi 10 000 € [13].

$$K_{\text{invest}} = \sum K \cdot n = 100 \text{ €} \cdot 104 + 350 \text{ €} + 15000 \text{ €} + 10000 \text{ €} = 35\,750 \text{ €}$$

Hankintakustannukset Luminen järjestelmälle olisivat siis 35 750 euroa ja ylläpitomaksu edellä mainittu 150 euroa vuodessa.

6 Yhteenveto

Kuten aiemmin tuli todettua, niin Ilmalan ratapihan säästöpotentiaali on 3 000 euroa vuodessa ja Leppävaaran rautatieaseman säästöpotentiaali on 521 euroa vuodessa. Ilmalan ratapihalla on talvisaikaan mahdollista saada huomattavia säästöjä, koska valaistusvoimakkuutta voidaan alentaa maanpinnan luminanssin pysyessä samana. Sen sijaan Leppävaaran rautatieasemalla tilanne on toinen, koska siellä valaistus on toteutettu ledeillä. Ledivalaisimille olisi mahdollista toteuttaa hyvin yksityiskohtainen himmennysjärjestelmä, joka todennäköisesti maksaisikin itsensä takaisin, mutta jos himmennysjärjestelmään tulee yksikin vika, niin sen korjaamisesta johtuvat kulut todennäköisesti kumoavat saadut säästöt. Luminen järjestelmän ylläpitomaksu tekee hankinnasta vieläkin kannattamattomamman. Todettakoon siis, että ledivalaisimille ei kannata hankkia himmennysjärjestelmää. Hankittaessa rautatieasemalle valaistusta kannattaa hankkia ledivalaistus, käyttää sitä 10...20 vuotta ja sen jälkeen vaihtaa valaisimet.

Lähteet

1. Lahelma Harri, Schalin Minna: Suomen rautatietilasto. Helsinki 6/2015.
2. Saari, Ekrias, Hokkanen et al.: Postipuiston Maaliikennekeskuksen kaava-muutosalueen häiriövaloselvitys. Tekninen selvitys. Helsingin kaupunki, Kaupunkisuunnitteluvirasto, Teknistoloudellinen toimisto. Helsinki 30.9.2015.
3. Postipuiston pohjoisosa: kaavaluonnos. Helsingin kaupunki
<http://www.hel.fi/hel2/ksv/liitteet/2015_kaava/0874_4_luonnos.pdf>
4. Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto. Suomen Sähköurakoitsijaliitto ry ja Suomen Valoteknillinen Seura ry. Espoo 1996.
5. Lamput ja valaisimet. Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry ja Suomen Valoteknillinen Seura. Espoo 1998
6. Philips Ammattivalaistus. Verkkodokumentti. <<http://www.lighting.philips.fi>> Luettu 3.3.2016.
7. Liikenneviraston ohjeita 16/2015: Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu. 13.5.2015. Helsinki.
8. Saari, Mika ja Nieminen, Janne. 2016. LiCon-AT Oy, Hyvinkää. Keskustelu 29.2.2016
9. Ilmalan ratapihan perusparannus valmistuu. Liikennevirasto 2.10.2012. Verkkodokumentti. <<http://www.liikennevirasto.fi/-/ilmalan-ratapihan-perusparannus-valmistuu#.Vo7FMIKH6P8>>
10. Saari, Mika. 2016. Toimitusjohtaja, LiCon-AT Oy, Helsinki. Keskustelu 2.11.2015
11. Ulkovalaistuksen himmennystaulukko, malli 1. LiCon-AT Oy 15.9.2015.
12. Oksanen, Santeri. 2016. Toimitusjohtaja, Lumine Oy, Helsinki. Keskustelu 11.3.2016
13. Saari, Mika. 2016. Helsinki. Keskustelu 30.3.2016